Experimentelle Untersuchungen über die Verwendung von Braunkohle im Martinbetrieb.

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Henry Markgraf aus Danzig.

Genehmigt von der
Königlichen Technischen Hochschule Breslau.

Referent: Prof. O. Simmersbach,
Korreferent: Prof. Dr. Schenck.

Düsseldorf
Verlag Stahleisen m. b. H.
1912

46301

Experimentelle Untersuchungen über die Verwendung von Braunkohle im Martinbetrieb.

Dissertation

zur

Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs.

ACAD
LUGD.RAT.
BIBL.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. Henry Markgraf aus Danzig.

Genehmigt von der
Königlichen Technischen Hochschule Breslau.

Referent: Prof. O. Simmersbach,
Korreferent: Prof. Dr. Schenck.

Düsseldorf
Verlag Stahleisen m. b. H.
1912

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41549813_0065

Braunkohle stellt nach dem Torf das jüngste Produkt der natürlichen Holzverkohlung dar und gehört hauptsächlich der Tertiärzeit an.

Man kann nach dem Alter drei Abarten unterscheiden. Lignit, der noch deutlich Holzgefüge zeigt, steht dem Torf am nächsten. Die gemeine Braunkohle gehört einer älteren Periode an und findet sich meist in tieferen Lagern; ihr Bruch erscheint dichter und das Gefüge erdiger, weshalb sie sich nicht zur direkten Verfeuerung besonders eignet. Eine Abart der gemeinen Braunkohle bildet die muschelige Braunkohle. Ihr Heizwert beträgt bis 5000 Kal.; sie zeigt eine fast schwarze Farbe und verhältnismäßig große Härte und Festigkeit. Die älteste „fette Braunkohle" bildet den Uebergang zur Steinkohle, von der sie äußerlich nur schwer unterschieden werden kann. Sie besitzt einen hohen Bitumengehalt und liefert durch trockene Destillation Paraffin, Solaröl, Kreosot, Karbolsäure usw. und als festen Rückstand Grudekoks. Ihr Brennwert kann bis zu 6000 Kal. steigen.

Ein Unterscheidungsmerkmal der Braunkohle und der Steinkohle besteht in ihrem Verhalten zu Kalilauge, womit erstere eine braune Färbung gibt.

Besonders in Deutschland und Oesterreich befinden sich bedeutende Braunkohlenlagerstätten; die wichtigsten, oft über 30 m mächtigen Lager, liegen in Böhmen am Erzgebirge, in der Provinz Sachsen, in der Lausitz und im Rheinland. Eine etwas geringere Bedeutung haben die Vorkommen in der Mark, in den Provinzen Posen, Hessen-Nassau, Schlesien, Großherzogtum Hessen und bei Helmstedt. Für Oesterreich spielt noch das Leobener Lager eine größere Rolle; die dort gefundene Rohkohle stellt einen vorzüglichen Brennstoff für die steirische Eisenindustrie dar. Ihr Brennwert beträgt etwa 6500 Kal., während die mitteldeutsche Braunkohle nur 4500 Kal. hat.

Für die rheinisch-westfälische Industrie kommt hauptsächlich nur das Vorkommen am Niederrhein in Frage. Das im Abbau begriffene Lager befindet sich im zentralen Teil der Kölner Bucht. Als besonders charakteristisch erscheint seine Mächtigkeit nebst der geringen Ueberdeckung. Man hat Mächtigkeiten bis zu 300 m, von den höchsten Sattelpunkten aus, festgestellt.

Trotzdem der Heizwert der niederrheinischen Rohkohle nur 2300 bis 2400 Kal. beträgt, stellt sich ihr Abbau doch äußerst lohnend. Die Ueberdeckung beträgt im Mittel 10 bis 12 m, im südwestlichen Ausgehenden nur einige Meter, nach Norden nimmt sie auf 20 bis 25 m zu. Der Abbau geschieht daher heute ausschließlich im Tagebau.

Die geförderte Kohle hat erdige Beschaffenheit und einen wechselnden, geringen Gehalt an Stücken, den sog. Knabben. Ab und zu finden sich auch holzartige Teile. Die in Mitteldeutschland gefundene Schmierkohle, die zur Gewinnung von Paraffin usw. benutzt wird, kommt nur vereinzelt in schwachen Schichten auf der Oberfläche der Flöze vor.

Zum Vergleich der Zusammensetzung verschiedener wichtigerer Braunkohlenvorkommen diene folgende Tabelle*:

* Teilweise Hütte 1910.

	Rohkohle enthält			Ausbeute an			In wasser- u. aschefr. Subst.				Heizwert d. (Kal.)	
	brennb. Subst.	H_2O	Asche	Koks	flücht. Bestandteilen	festem C	C	H	O+N	S	Rohkohle	brennb. Subst.
Lignit von Josefszeche in Schwanenkirchen	43,76	40,35	15,89	34,00	25,65	18,11	65,81	5,81	21,82	6,56	2578	6421
Sächsische Kohle												
Lützkendorf . . .	47,20	47,45	5,35	24,98	27,57	19,63	65,93	5,91	19,96	8,20	2818	6574
Meuselwitz	64,55	27,63	8,32	35,59	37,28	27,27	68,83	5,69	22,76	2,66	4059	6541
Alfred	56,66	36,26	7,08	30,35	33,39	23,27	73,08	6,81	17,37	3,74	3741	6987
Lauchhammer. .	39,33	59,10	1,57	—	—	—	66,41	5,14	28,0	0,45	2000	—
Böhmische Kohle												
Nelson	86,98	10,01	3,00		—	—	75,61	5,77	17,86	0,76	6150	7070
Kölner Bucht . .	45,—	50,—	5,—	—	—	—	69,20	5,80	24,50	0,50	2350	—

Es fällt an der niederrheinischen Kohle (auch an der böhmischen und Lauchhammer-Kohle) der verhältnismäßig geringe Gehalt an Schwefel auf, ½ % in wasser- und aschefreier Substanz, während er bei der sächsischen Kohle bis über 8 % beträgt. Dieser geringe Gehalt an Schwefel prädestiniert diese Kohlen besonders für metallurgische Zwecke, bei denen der Schwefel bekanntlich fast stets ein unangenehmer Gast ist.

Wegen ihres hohen Wassergehaltes wird die Braunkohle größtenteils brikettiert. Ihre Brikettierungsfähigkeit hängt ab von dem Gehalt an chemisch gebundenem Wasser und vom Bitumengehalt. Je mehr Bitumen vorhanden, desto weniger chemisch gebundenes Wasser bleibt erforderlich. Letzterer Gehalt soll zwischen 8 bis 20 % ausmachen, während der Bitumengehalt nicht mehr als 13 bis 14 % sein darf. Je weicher die Kohlenart, desto geringer der Bitumengehalt, bei rheinischer Braunkohle sogar bis 1 %.

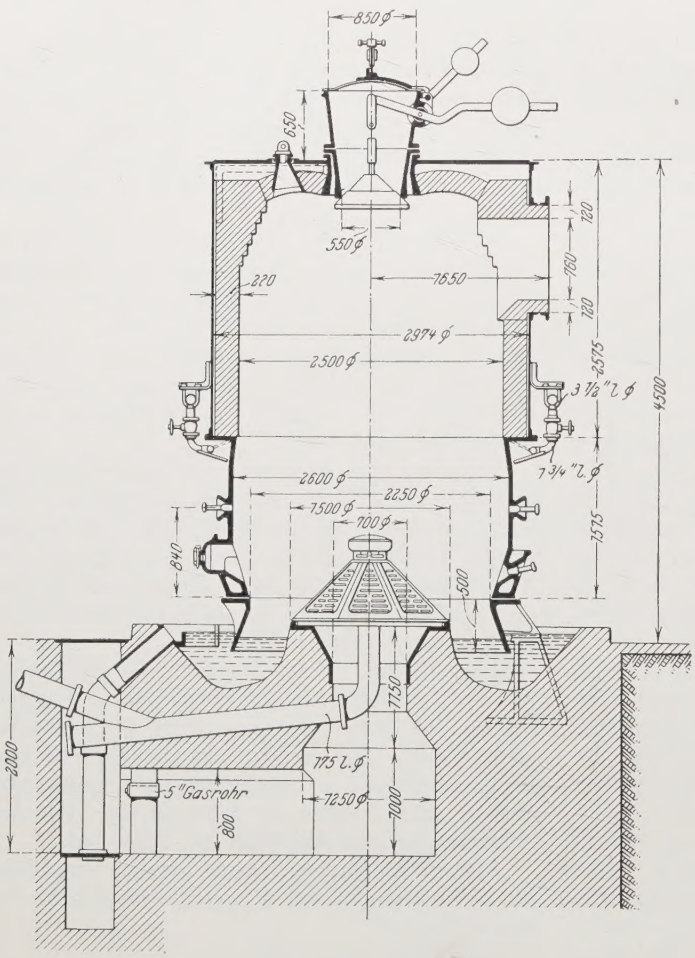

Abbildung 1.

Durch das Brikettieren steigt der Heizwert der Braunkohle erheblich, wie aus nachstehender Gegenüberstellung hervorgeht:

	C	H	C+N	S	Asche	H_2O	Heizw. Kal.
Rohkohle	26,12	2,02	10,97	0,22	1,57	59,10	2000
Brikett .	55,56	4,30	23,33	0,47	3,34	13,00	4960

Ein weiterer Vorteil außer der Erhöhung des Heizwertes ergibt sich daraus, daß der Transport der Braunkohle in Form von Briketts durch den geringeren Wasserballast billiger wird.

Verwendung der Braunkohle.

Während in Steiermark bereits seit langer Zeit mit gutem Erfolg Braunkohlen in der Eisenindustrie verwendet werden, stehen in Rheinland-Westfalen geeignete Steinkohlen reichlich zur Verfügung, sodaß man sich hier lange Zeit nicht bewogen fühlte, Versuche über die Zweckmäßigkeit der Verwendung von Braunkohle anzustellen (das Oberschlesische Eisenrevier kommt hier nicht in Frage, da ihm keine Braunkohlengruben in nächster Nähe zur Verfügung stehen). Erst in neuerer Zeit hat das Streben, die Produktionskosten immer mehr herunterzudrücken, einige rheinisch-westfälische Eisenwerke dazu veranlaßt, Braunkohlen für Wärm- und Schmelzzwecke zu verwenden.

Durch das liebenswürdige Entgegenkommen der Firma „Schulz Knaudt A. G., Essen", wurde es mir ermöglicht, auf dem neuen Stahlwerke Angerort bei Duisburg Versuche über den Betrieb mit Braunkohlenbriketts anzustellen.* Das Stahlwerk wurde im Herbst 1909 in Betrieb genommen. Es wurde nach den Plänen des Technischen Bureaus E. Widekind in Düsseldorf erbaut. Zunächst arbeitete man mit westfälischen Steinkohlen, ging aber im Frühjahr 1910 zum ausschließlichen Betrieb mit Braunkohle über.

Die Anlage besteht aus drei basischen Martinöfen von je 35 t Fassung und acht Generatoren von 2500 mm Durchmesser. Durchschnittlich stehen zwei Martinöfen in Betrieb, während der dritte neu zugestellt wird. Jeder Ofen macht im allgemeinen vier Chargen in 24 Stunden. Es werden hauptsächlich Brammen für Bleche und Schmiedeblöcke hergestellt. Der Antrieb der Krane und sonstigen maschinellen Einrichtungen erfolgt mit Ausnahme einer

* Es ist mir eine angenehme Pflicht, dem Direktor genannter Firma, Herrn Direktor H. Rinne, hierfür auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen, ebenso Herrn Betriebschef C. Canaris für seine Unterstützung bei den Versuchen. Herrn Professor Simmersbach-Breslau bin ich zu großem Dank verpflichtet für die Anregung, die er mir zu dieser Arbeit gegeben hat und für die gütige Ueberlassung der zu den Versuchen notwendigen Apparate.

Dampflokomotive elektrisch. Der Strom wird von den rheinisch-westfälischen Elektrizitätswerken bezogen.

Es bleibt hervorzuheben, daß die Anlage sehr stark beansprucht wird. Die Oefen machen anstatt 35-t-Chargen solche von 40 t und mehr Ausbringen; die durchschnittliche Tagesproduktion beträgt 290 bis 300 t bei zwei Oefen in Betrieb, während man bei der Konstruktion der Anlage mit nur 230 bis 240 t gerechnet hat.

Die Generatoren (Abb. 1) gehören zu den sogen. Wasserabschlußgeneratoren. Die Windzuführung geschieht mittels einer zentralen Haube in Form eines Kegels mit Schlitzen. Außerdem hat man noch eine kleinere zentrale Haube mit besonderer Windzuführung vorgesehen, die aber nicht benutzt wird, weil die Generatoren große Neigung haben, in der Mitte durchzubrennen. Der untere Teil des Schachtes besteht aus Stahlguß und wird mit Wasser gekühlt. Die Beschickung erfolgt durch die üblichen Füllkasten mit doppeltem Verschluß. Ueber jedem Generator ist ein Füllraum von 8 bis 10 t Fassung angeordnet. Die Briketts werden aus den Waggons in gemauerte Taschen gestürzt, von wo sie ein Greiferkran in die Rümpfe befördert. Für das erzeugte Gas sind ein im Erdboden befindlicher Gassammelkanal und ein auf der Generatorbühne liegendes ausgemauertes Blechrohr vorgesehen. Nach den Oefen wird das Gas durch im Boden unter dem Schrottplatz liegende Kanäle geleitet, die mit dem Hauptkanal direkt, mit dem Sammelrohr durch kleinere ausgemauerte Rohre in Verbindung stehen.

Zu den Untersuchungen verwendete Apparate.

Die Messungen der Temperatur geschahen teilweise mit einem Pyrometer nach Le Chatelier, teils mit dem Pyrometer nach Wanner. Der Heizwert der Gase wurde mit dem Kalorimeter von Junkers bestimmt. Zur Bestimmung des Teergehalts im Gase diente der Apparat nach Tieftrunk. Die Zusammensetzung der Gase wurde nach Hempel untersucht. Es wurden keine sogen. Durchschnittsproben genommen durch Auffangen der Gase während einer längeren Zeit, sondern Einzelproben von 4 bis 5 l. Als Sperrflüssigkeit diente mit dem jeweilig zu untersuchenden Gase gesättigtes Wasser. Kohlensäure, die Kohlenwasserstoffe und Kohlenoxyd wurden wie üblich bestimmt. Bei der Bestimmung von Kohlenoxyd wurde zweckmäßig mit zwei Pipetten gearbeitet. In der ersten wurde zunächst die Hauptmenge des Kohlenoxyds absorbiert, in der zweiten der Rest, sodaß die zweite Flüssigkeit ziemlich lange frisch blieb. Der Gehalt an Wasserstoff und Methan wurde durch Verbrennung in einer Drehschmidtschen Platinkapillare und die dadurch entstehende Kontraktion ermittelt. Da zur Verbrennung Sauerstoff nötig ist, wurde ein Teil des Gasrestes mit Luft gemischt. Es können daher die eventuellen Fehlerquellen verhältnismäßig groß werden. In neuerer Zeit ist ein Verfahren ausgearbeitet worden, nach dem Wasserstoff neben Methan durch Absorption mit kolloidalem Palladium bestimmt wird. Zur Zeit der Untersuchungen lagen hierüber noch keine einwandfreien Berichte vor.

Vorgänge im Generator.

Generatorgas kann im allgemeinen als ein Gemisch von Wassergas, Luftgas und Destillationsgas aufgefaßt werden. Eine Ausnahme bildet, um ein Beispiel anzuführen, der Betrieb mit Koks, bei dem das Destillationsgas natürlich fehlt.

Wassergas entsteht durch Zersetzung von Wasser durch glühenden Kohlenstoff. Die Reaktion

$$H_2O + C = H_2 + CO$$

verläuft am vollkommensten bei ca. 1050° C, bei niedrigeren Temperaturen geht eine zweite Reaktion nebenher nach der Gleichung

$$C + 2\,H_2O = 2\,H_2 + CO_2.$$

Diese Reaktionen erfolgen endothermisch, also wärmeverbrauchend. Aus diesem Grunde arbeitet man im Generatorbetrieb mit Wasserdampfzusatz zur Vergasungsluft, da sonst der Generator zu heiß gehen würde. Es würden die aus dem Brennstoff restierenden Aschen schmelzen und zu Betriebsstörungen Veranlassung geben. Der Dampfzusatz kann in verschiedener Weise erfolgen. Arbeitet man mit einem Dampfstrahlgebläse, so hat man natürlich stets ein Dampfluftgemisch. Beim Gebläsebetrieb setzt man der Luft durch ein besonderes Rohr Dampf zu, was den Vorteil hat, daß man das Gemisch besser regulieren kann. Bei den Wasserabschlußgeneratoren wird dem Generator stets Wasserdampf aus der Schlackenschüssel zugeführt, indem die Asche Wasser aufsaugt, das in den wärmeren Zonen verdampft oder verdunstet. Es ließe sich dies dadurch vermeiden, daß man die Verbrennungszone möglichst hoch im Generator hält. Das hat sich aber praktisch nicht als durchführbar erwiesen. Schließlich ist der Vergasungsluft stets ein gewisser Wassergehalt durch die natürliche Feuchtigkeit der Luft beigemischt.

Die Luftgaserzeugung ergibt sich nach der Reaktion

$$C + O = CO$$

Auch diese Reaktion erfolgt nur bei bestimmten Temperaturen, ähnlich wie bei Wassergas bei über 1000° C. Unterhalb dieser Temperatur entsteht teilweise eine vollkommene Oxydation des Kohlenstoffs zu Kohlensäure. Wird Kohlensäure durch erhitzten Kohlenstoff geleitet, so zersetzt sie sich mit Kohlenstoff zu Kohlenoxyd nach

$$CO_2 + C = 2\,CO$$

Diese Reaktion verläuft erst bei Temperaturen oberhalb 1000° vollkommen.

Das Destillationsgas bildet sich durch Erhitzen des bitumenhaltigen Brennstoffs. Es besteht hauptsächlich aus Kohlenwasserstoffen — leichten und schweren —, Wasserstoff, etwas Kohlenoxyd, Stickstoff und Kohlensäure. Bei höheren Temperaturen

zersetzen sich die Kohlenwasserstoffe nach der allgemeinen Formel

$$C_n H_{2n} = \frac{n}{2} CH_4 + \frac{n}{2} C.$$

Es bildet sich also das beständigere Methan und freier Kohlenstoff, der evtl. mit Wasserdampf, freiem Sauerstoff oder freier Kohlensäure in Reaktion treten kann.

Beim Generatorprozeß lassen sich eine heiße und eine kühlere Zone unterscheiden. In der ersteren, der unteren, erfolgt die Wasser- und Luftgaserzeugung, in der zweiten wird das Destillationsgas gebildet. Die Verdampfung des Wassers im Brennstoff an der Oberfläche der Brennstoffsäule ist ein physikalischer Vorgang.

In Angerort werden die sogen. Industriebriketts vergast. Einige Analysen solcher Briketts sind in Tabelle I u. II zusammengestellt.

Der Wassergehalt schwankt schon bei der Fabrikation. Die Kohlen desselben Flözes sind nie gleich.

Tabelle I.

Analysen von Briketts.

	1	2	3	4	5	6
Wasserverlust beim Liegen in halb mit Wasserdampf gesättigter Luft. — Lufttrocken . . .	% 0,56	% 3,55	% 0,94	% 1,39	% 1,80	% 1,05
Analyse der lufttrockenen Durchschnittsproben.						
Kohlenstoff	54,87	55,99	55,36	54,76	56,32	55,27
Wasserstoff	4,51	4,09	3,97	4,13	4,25	3,88
Stickstoff	0,68	0,46	0,57	0,43	0,48	0,49
Sauerstoff	22,00	21,43	21,86	22,68	22,74	21,38
Schwefel	0,74	0,45	0,69	0,47	0,35	0,64
Asche	6,42	4,63	5,76	4,12	3,51	5,53
Feuchtigkeit (durch Trocknen bei 105° C bestimmt)	10,78	12,95	11,88	13,41	12,37	12,81
Verbrennungswärme der lufttrockenen Proben (durch Verbrennen im verdichteten Sauerstoff ermittelt)	Kal. 5182	Kal. 5156	Kal. 5120	Kal. 5037	Kal. 5253	Kal. 5127
Demnach beträgt die Verbrennungswärme der ursprünglichen Kohle	5153	4973	5072	4917	5158	5073

Tabelle II.

Gehalt der Briketts an Asche und Wasser auf dem Werke bestimmt.

Nr.	Wasser	Asche
111	15,6	4,7
112	15,7	3,8
113	17,3	4,4
114	12,7	4,6
115	13,5	4,2
116	16,9	5,6
117	18,3	3,3
118	16,4	4,1
119	18,2	4,0
120	18,6	3,2
121	15,1	3,4
122	19,4	4,2
123	15,7	4,6
124	15,4	4,8
Mittel	16,3	4,2

Um ein festes Brikett zu erzielen — und dies spielt sowohl für den Transport wie für die Vergasung eine sehr wesentliche Rolle —, muß bei der Brikettierung auf die Beschaffenheit der Rohkohle Rücksicht genommen werden. Je nach dem Gehalt an erdigen Bestandteilen und Bitumen ist der Gehalt des Briketts an Wasser ein verschiedener. Ferner sind die Briketts sehr hygroskopisch, was sich leicht daraus erklären läßt, daß der Rohkohle künstlich Wasser ausgetrieben worden ist; daher zeigt das Kunstprodukt wieder das Bestreben, Wasser aufzusaugen. Gehindert wird es hieran etwas durch die feste Haut, die das Brikett glänzend erscheinen läßt. Leichten Eintritt findet das Wasser an den Stellen, an denen die Briketts bei der Fabrikation von einander abgebrochen sind. Um festzustellen, wie weit die Wasseraufnahme gehen kann, wurde ein Brikett 24 Stunden Wasser ausgesetzt. Der Wassergehalt stieg von 12,94 % auf 18,23 %, er hatte also um etwa 42 % zugenommen. Das Brikett selbst war zerfallen. Einen gewissen Feuchtigkeitsgehaltwerden daher die Briketts beim Transport oder Lagern aus der Luft aufnehmen, der sich beträchtlich steigern kann, wenn sie Regen ausgesetzt werden. Es ist daher zu empfehlen, die Briketts in überdeckten Schuppen lagern zu lassen. Der Transport in geschlossenen Waggons ist nicht angängig, da dadurch sich die Kosten bedeutend erhöhen. Im Durchschnitt stellte sich der Wassergehalt der zur Vergasung kommenden Briketts auf 16,3 %, der Gehalt an Asche auf 4,2 %. Im Gegensatz zur Steinkohle, bei der oft eine bedeutende Stocharbeit zu verrichten ist, da sonst der Brennstoff zusammenbackt, müssen Braunkohlenbriketts bei der Vergasung möglichst vor Erschütterungen bewahrt werden. Durch die Erhitzung verliert das Brikett sein Bindemittel, Bitumen und Wasser. Es verkokt dann nicht wie Generatorkohle, sondern zerfällt zu Pulver, wenn es erschüttert wird. Der Wind kann dann leicht durch den Brennstoff hindurch und das Gas wird verschlechtert.

Ein großer Vorteil besteht darin, daß beim Braunkohlenbetrieb im allgemeinen nicht gestocht zu werden braucht. Ganz läßt sich aber diese Arbeit nicht vermeiden. Arbeitet man ohne Dampfzufuhr, was aus weiter unten angeführten Gründen möglichst zu erstreben ist, so geht der Generator derartig heiß, daß die Schlacke zu schmelzen beginnt und große Klumpen bildet, die den ganzen Betrieb evtl. zum

Tabelle III.

Gasanalysen aus dem Brennstoff des Generators.

Nummer	CO_2	$n H_m$	O	CO	CH_4	H	Winddruck	Gasdruck	Höhe Brennstoff	Höhe heiße Zone	Entfernung der Probestelle von Unterkante der Brennstoffschicht	Tiefe der Probestelle im Generator	Bemerkungen
2	3,3	—	9,3	6,3	—	—	40	4,5	600	350	120	300	$^1/_4$ Stunde später als 1
1	0,3	—	13,2	6,1	—	—	40	4,5	600	350	120	300	
3	—	—	0,1	32,5	—	—	30	23	800	500	120	380	
4	0,3	—	0,4	30,6	—	—	30	23	800	500	120	380	$^1/_2$ Stunde später als 3
5	0,2	—	0,5	30,5	2,5	—	30	20	800	500	320	300	
6	—	—	—	30,5	3,0	—	30	20	800	500	320	300	
8	12,7	—	3,9	4,5	—	—	80	3	1100	600	440	700	In Zwischenräumen von $^1/_4$ Stunde hintereinander.
9	15,8	—	1,4	2,7	—	—	80	3	1100	600	440	700	
7	1,2	—	14,0	4,8	—	—	80	3	1100	600	440	700	
10	0,0	—	9,4	10,0	—	—	35	20	—	—	—	—	
11	0,5	—	10,3	9,6	—	—	35	20	—	—	3. Loch	440	
12	0,2	—	0,5	34,4	0,8	1,5	24	20	1000	600	„	450	
13	0,5	—	0,1	33,1	0,9	1,7	24	20	1000	600	„	300	
14	11,2	1,1	0,4	13,1	0,4	5,1	40	38	1270	1000	2. Loch	300	
15	0,0	0,1	0,5	32,2	1,0	7,6	40	35	1000	500	—	300	
16	0,2	0,0	0,4	33,3	0,9	4,3	40	35	1000	500	—	—	

Erliegen bringen. Beim Abschlacken — dies geschieht in Angerort alle 24 Stunden — müssen diese Schlackenmassen mechanisch zerkleinert werden. Dies wird von oben her durch die Stochlöcher mit eisernen Stangen bewirkt. Es läßt sich bei dieser Arbeit natürlich nicht vermeiden, daß auch entgaste und halbvergaste Briketts zerstoßen werden, die dann durch die beim Stochen sich bildenden Löcher in das Aschenbassin fallen und für den Generatorprozeß verloren sind. Hieraus ergibt sich ein verhältnismäßig großer Rückstand an unverbrannten Teilen in der Asche, die unbenutzt zur Halde wandern. Diesen Brennstoff müßte man zweckmäßig noch anderweitig verwerten, etwa in Mischung mit anderer Kohle zur Kesselfeuerung, die aber auf modernen Werken meistens fehlt; mithin bleibt dann nur übrig, die noch zusammenhaltenden Brikettstücke auszuklauben und sie dem Generator nochmals zuzuführen oder sie zum Trocknen von Oefen oder dergl. zu verwenden.

Es sei bei dieser Gelegenheit betont, daß die weit verbreitete Anschauung, Braunkohlen seien bei der Vergasung „gutmütig", d. h. sie zeigten bei der Vergasung keinerlei Neigung zu Schlackenbildungen, eine durchaus irrige ist (vgl. „Hütte" 1910). Die Asche und Schlacke der niederrheinischen Braunkohlen ist sehr kalkreich. Ueber ihre genauere Zusammensetzung geben folgende Analysen Aufschluß:

	Asche	Schlacke
$Si O_2$	0,95	—
Fe_2O_3	24,72	5,50
$Fe S_2$	—	28,66
Al_2O_3	1,14	2,03
Ca O	29,64	41,92
$Ca SO_4$	36,74	10,42
$Ca CO_3$	5,74	—

Nach dem D. R. P. 221 871 sollen sich aus der von unverbrannten Teilen befreiten Braunkohlenasche Steine herstellen lassen, die an Festigkeit den Schwemmsteinen gleichkommen. Näheres hierüber ist mir nicht bekannt geworden; es dürfte jedoch die Trennung der Asche von den unverbrannten Teilen auf Schwierigkeiten stoßen, zum mindesten die Fabrikation sehr verteuern.

Um die Vorgänge im Generator einer genaueren Untersuchung zu unterziehen, wurde der Schachtmantel in Abständen von 200 mm mit Löchern versehen (vgl. Abb. 1), durch die aus dem Brennstoff aus verschiedenen Tiefen Gasproben entnommen wurden. Die Ergebnisse sind in der Tabelle III zusammengestellt. Da alle 24 Stunden geschlackt wird, verändert sich naturgemäß die Schlackenschichthöhe, bei steigender Höhe (unter „Schlacke" sei hier das Gemisch von Schlacke, Asche und unverbrannten Rückständen verstanden) muß der Winddruck erhöht werden, damit eine gleichmäßige Gaserzeugung erzielt wird. Wird der Druck nicht erhöht, so wird die Brennstoffschicht niedriger und die Durchsatzmenge geringer. Wird der Winddruck zu sehr erhöht, so muß auch die Brennstoffschicht erhöht werden, die Gaserzeugung steigt. Im praktischen Betrieb läßt sich natürlich ein ganz gleichmäßiges Arbeiten schwer durchführen, zumal bei Generatoren, die nicht mit einer selbständigen, gleichmäßigen Entschlackungsvorrichtung versehen sind. Der den Generator bedienende Arbeiter gibt frischen Brennstoff auf, sobald die Oberfläche im Generator zu hell glüht, was er durch die Stochlöcher hindurch beobachten kann. Die Gaserzeugung schwankt demnach, je nach den Drücken, die im Generator herrschen. Es schwankt daher auch die Höhe der Brennstoffsäule.

Um nun festzustellen, aus welcher Zone die Gasproben entnommen wurden, mußte jedesmal die Höhe und Lage der Zonen bestimmt werden. Es geschah dies durch Einführung von eisernen Stangen in den Brennstoff durch die Stochlöcher von der Bühne aus. Nach einigen Minuten wurden die Stangen herausgezogen. Ein Stück der Stange war

rotglühend geworden, der andere Teil kälter geblieben. Der glühende Teil bezeichnete die Lage und Höhe der Vergasungszone. Sie konnte durch Messungen an der Stange und Eintragung der Masse in die Generatorzeichnung ziemlich genau bestimmt werden. Die Höhe der ganzen Brennstoffschicht wurde durch eine Stange gemessen, die an ihrer Spitze mit einem kleinen Blech versehen war, sodaß sie nicht durch den Brennstoff hindurchfallen konnte, sondern an der Oberfläche aufstieß.

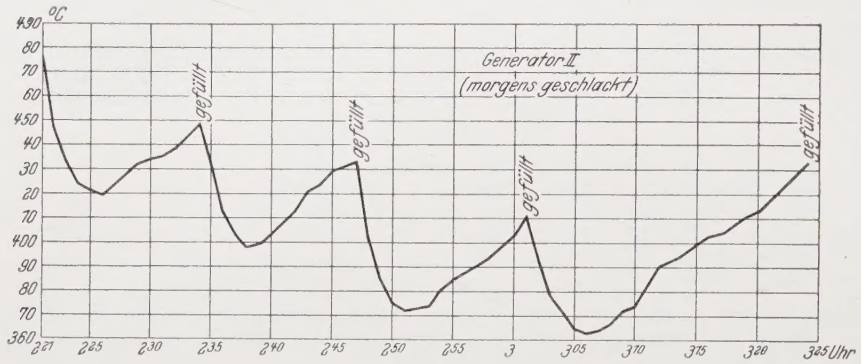

Schaubild 1 a.

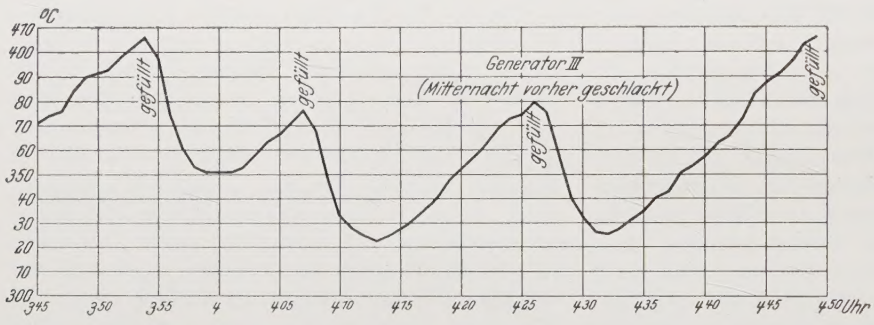

Schaubild 1 b.

Die Höhe der Vergasungszone schwankte zwischen 350 mm und 1000 mm, die der ganzen Brennstoffsäule einschließlich der Vergasungszone zwischen 600 und 1270 mm. Die Winddrücke, gemessen an dem Windzuleitungsrohr, schwankten zwischen 24 und 80 mm Wassersäule.

An den eingeführten Meßstangen zeigte sich stets ein äußerst scharfer Uebergang von rot zu schwarz, sodaß sich annehmen läßt, daß zwischen der Vergasungs- und Entgasungszone kein allmählicher Uebergang stattfindet, sondern daß eine ziemlich scharfe Grenze besteht.

Zur Gasentnahme wurde zunächst ein wassergekühltes Rohr im Generator eingeführt und durch dies ein Porzellanrohr, das mit seinem äußersten Ende ca. 200 mm über das Eisenrohr hinaus in den Brennstoff hineinragte. Das Gas wurde auf diese Weise schnell abgekühlt. Beim Durchleiten durch ein längeres erhitztes Rohr wären Veränderungen in der Gaszusammensetzung zu befürchten gewesen. Ob trotz dieser Vorsichtsmaßregel die ermittelten Analysen genau mit den jeweiligen Gaszusammensetzungen an der Entnahmestelle übereinstimmten, erscheint zweifelhaft. Dasselbe gilt von den weiter unten angeführten Untersuchungen über die Gaszusammensetzungen in den Kammern der Martinöfen.

Es sei hierbei auf einen Versuch Cailletets hingewiesen, der die Verbrennungsgase eines Schweißofens untersuchte. Eine Probe ließ er schnell abkühlen, die andere nahm er, nachdem sie einen 15 m langen Kanal passiert und sich unter 500° C abgekühlt hatte. Er fand im zweiten Falle weniger Sauerstoff und mehr Kohlensäure als im ersten, nämlich

	I	II
O . .	13,15	7,65
CO . .	3,31	3,21
CO_2 .	1,04	7,42

Bei der Analyse der aus dem Generator entnommenen Gase zeigte sich, daß zwei in nicht langer Zeit nacheinander genommene Proben verschiedene Zusammensetzung hatten, und zwar war der Kohlensäuregehalt im zweiten Falle höher als im ersten. Es ist dies mit dem Wesen der Braunkohlenvergasung zu erklären. Wie schon gesagt wurde, darf der Brennstoff keinen starken Erschütterungen ausgesetzt werden. Beim Einführen der Rohre — das Eisenrohr hatte einen äußeren Durchmesser von 50 mm, es konnte aus konstruktiven Rücksichten nicht kleiner dimensioniert werden — wurde ein Loch in die Brennstoffschicht gestoßen. Unterhalb des Rohres sank der Brennstoff entsprechend der Vergasung allmählich nach unten; es bildete sich ein Kanal, der durch nachrutschenden Brennstoff nicht ganz ausgefüllt werden konnte, da das Rohr gewissermaßen als Dach wirkte. Durch diesen Kanal fand der Wind einen bequemen Weg und störte an der jeweiligen Entnahmestelle die Gaszusammensetzung.

Aus den Versuchen kann aber folgendes entnommen werden:

Die Verbrennung zu Kohlensäure und die Zersetzung zu Kohlenoxyd gehen in ziemlicher Nähe des Windaustritts vor sich.

Die Vergasungszone liegt im Generator nicht horizontal in einer Ebene, sondern ihre Lage paßt sich der kegelförmigen Lufthaube an. Die Uebergänge zwischen der Aschenschicht und der Ver-

gasungszone und zwischen dieser und der Entgasungszone sind ziemlich scharf begrenzt.

Mit dem zweiten Punkt stimmt der Umstand sehr gut überein, daß die Generatoren in der Mitte, also an der Kegelspitze, sehr leicht durchbrennen, während sie am Rande kälter bleiben. Man könnte diese Erscheinung auch darauf zurückführen, daß die Kegel der Beschickungstrichter das Material mehr nach der Seite, nach den Rändern zu, verstreuen, als nach der Mitte; dies trifft auch teilweise zu, erhebliche Unebenheiten der Oberfläche des Brennstoffs konnten jedoch nicht festgestellt werden. Bei den Versuchen, die Temperaturen der einzelnen Zonen zu messen, machte sich dieselbe Schwierigkeit bemerkbar, wie bei der Entnahme von Gasproben. Durch die Kanalbildungen wurden auch hier die Messungen gestört. Eine konstante Temperatur ließ sich nicht feststellen. Besonders auffällig war diese Erscheinung bei der Temperaturmessung der Entgasungszone; langsam stieg die Temperatur auf über 1200°, eine Höhe, die dieser Zone auf keinen Fall entspricht. Es wäre vielleicht möglich, genauere Zahlen zu finden, wenn man ein möglichst dünnes Thermoelementrohr benutzen könnte; dies würde aber dabei wahrscheinlich zerstört werden. Die höchste gemessene Temperatur betrug in der Vergasungsschicht 1240° C.

Von einem Stochloch aus wurden die Temperaturen des abziehenden Gases im Generator gemessen. Sie schwankten zwischen 323 und 475° C, je nachdem der Generator frisch geschlackt war oder neues Brennmaterial aufgegeben wurde. Im letzteren Falle sank die Temperatur allmählich, da die kalten Briketts kühlend wirken und zum Austreiben des Wassergehaltes Wärme verbraucht wird. Danach stieg die Temperatur allmählich, bis wieder gefüllt wurde. Die gefundenen Werte sind in dem Schaubild 1 a und 1 b zusammengestellt. Die Temperatur der Entgasungszone dürfte nicht sehr viel mehr betragen als die der abziehenden Gase.

Gaszusammensetzungen.

In der Zusammensetzung, in der das Gas die Generatoren verläßt, erreicht es nicht seinen Bestimmungsort, den Brenner des Martinofens. Auf dem Wege dorthin ist es mannigfachen Veränderungen ausgesetzt. Die Hauptveränderung erfährt das Gas natürlich beim Durchströmen der erhitzten Gaskammern; aber auch schon vorher machen sich in den Kanälen und Leitungen zum Ofen allerlei Einflüsse geltend.

Es sei hier zunächst auf einige Untersuchungen hingewiesen, die über die Veränderung des Gases bei Erhitzung angestellt wurden.

F. Würtemberger* veröffentlichte einige Analysen, wonach sich in den Kammern eine Zunahme des Kohlensäure- und Wasserstoffgehaltes und eine Abnahme an Kohlenoxyd und Methan ergab. Er führte dies auf eine Zersetzung des Kohlenoxyds in Kohlenstoff und Kohlensäure zurück. Ledebur, der sich daraufhin äußerte, hielt dies nicht für richtig, da Kohlensäure um so leichter durch Kohlenstoff reduziert wird, je höher die Temperatur ist. Auf diesem Prinzip beruht ja auch der Generatorprozeß. Er hält eine Verbrennung des Kohlenoxyds durch Wasserdampf für möglich oder ein Zerfallen von Methan in seine Bestandteile oder eine Zersetzung von Methan durch Wasserdampf in Kohlensäure und Wasserstoff. Prof. Dr. Mayer* hat bei seinen Versuchen gefunden, daß der Methan- und Kohlenwasserstoffgehalt zurückgeht, ebenso der Gehalt an Kohlensäure und Sauerstoff, der Gehalt an Kohlenoxyd und Wasserstoff dagegen zunimmt. Er stellte zur Kontrolle im Laboratorium Versuche mit Leuchtgas an, das er durch ein im Heräusofen erhitztes Porzellanrohr leitete. Diese Versuche können aber für die Verhältnisse in den Gaskammern nicht maßgebend sein, da Leuchtgas fast wasserfrei ist, und gerade der Wasserdampf bei den Reaktionen eine Hauptrolle spielt. Armand Gautier** veröffentlichte einige Versuche über den Einfluß von Wasserstoff auf Kohlenoxyd und von Wasser bei Rotglut auf Kohlenoxyd. Er kommt zu dem Resultat, daß Kohlenoxyd durch Wasserstoff reduziert wird, wobei Wasserdampf, Kohlenstoff und etwa Methan entstehen. Die Reaktionen beginnen bei 400° und erreichen ihr Gleichgewicht bei etwa 1000°. Die Methanbildung wird begünstigt durch Steigen des Wasserstoffgases und durch Wachsen der Geschwindigkeit, mit der das entstehende Methan dem Einfluß der Rotglut entzogen wird. Bei hohen Temperaturen bilden sich durch Einfluß von Wasserdampf auf Kohlenoxyd Kohlensäure und Wasserstoff.

Ich untersuchte das Gas in Angerort an dem Stutzen auf dem Gassammelrohr bei dem Generator (I), am Ueberleitungsrohr vom Kanal zur Gasreversierglocke (II) und an der obersten Stelle der Gaskammer unmittelbar vor den Schlitzen zu den Zügen (III). Die Ergebnisse sind in den Tabellen IV, V, VI, VII zusammengestellt. Es ergaben sich folgende Durchschnittsanalysen:

	I	II	III
CO_2	3,8	4,5	5,5
$C_n H_m$	0,4	0,2	0,3
O	1,0	0,6	0,8
CO	27,7	28,7	26,3
H	10,3	11,0	11,5
CH_4	1,2	1,2	1,4

Bei einem Vergleich der Analysen I und II fällt besonders die Zunahme an Kohlensäure um 19 % und die Abnahme an Sauerstoff um 40 % auf, die das Gas auf seinem Wege von den Generatoren zum Martinofen erfährt. Es stimmt dies besonders gut überein mit dem Versuch von Cailletet.

Während das Gas von den Gaserzeugern zum Martinofen sich abkühlt, wird es hiernach in den Kammern hoch erhitzt. Wie weiter unten eingehend

* Stahl und Eisen 1903, S. 447 ff.

* Die Wärmetechnik des Siemens-Martinofens.

** Comptes rendus 1910, S. 1564.

untersucht wurde, konnte die Temperatur bis auf 1225° steigen. Die Durchschnittstemperatur betrug jedoch 1094° C. Es erfolgte ebenso, wie bei den Versuchen Gautiers, eine Steigerung des Kohlensäure- und Wasserstoffgehaltes und eine Abnahme an Kohlenoxyd. Außerdem stieg der Sauerstoffgehalt.

Bei den Betrachtungen über die Gasumsetzungen in den Gaskammern ist bisher noch keine Rücksicht auf den Einfluß der Teerdämpfe genommen worden. Diese zersetzen sich in hoher Hitze und zerfallen unter Abspaltung von Kohlenstoff in einfachere Verbindungen. Neben dem Wassergehalt des Gases, dessen Einfluß Gautier untersucht hat, spielt auch sicher dieser feinverteilte Kohlenstoff eine große Rolle. Es ist sehr wahrscheinlich, daß sich mit ihm Kohlensäure zersetzt, sich der Kohlenstoff auch mit freiem oder freiwerdendem Sauerstoff verbindet. Je reicher ein Gas an Teerdämpfen ist, desto mehr können diese Reaktionen natürlich eintreten. So erschweren eine ganze Reihe Faktoren eine genaue Klarstellung der Gasveränderungen in den Gaskammern. Wasserdampf wird durch Kohlenoxyd zersetzt, die gebildete Kohlensäure setzt sich wieder durch den freien Kohlenstoff der zersetzten Teerdämpfe um usw. Da ein Gleichgewichtszustand der Gase bei der Geschwindigkeit, mit der die großen Mengen Gase die Kammer durchströmen, wohl kaum eintreten kann, so ist es denkbar, daß man die verschiedensten Werte in der Zusammensetzung der Kammergase erhält bei gleichbleibender Zusammensetzung der Gase beim Austritt aus den Generatoren, wenn nicht die Temperatur, die Drücke, die Gasgeschwindigkeiten, der Gehalt an Wasser- und Teerdämpfen derselbe bleibt. Diese Verhältnisse bei jedesmaliger Probenahme gleichzeitig festzustellen, dürfte im praktischen Betriebe wohl unmöglich sein.

Die Zusammensetzung der Abgase wurde an drei Stellen festgestellt, an den obersten Stellen der Gas- und Luftkammer und am Sockel des Kamins. Die Ergebnisse sind in den Tabellen VII, VIII, IX, X zusammengestellt. Es seien hier die Durchschnittsanalysen angeführt.

	CO_2	O	CO	H
Gaskammer	16,4	1,2	0,4	0,4
Luftkammer	15,3	2,5	0,3	0,8
Kamin . .	12,1	5,6	0,4	0,3

Es zeigten sich in der Zusammensetzung der Ab-

Tabelle IV.

Generatorgasanalysen aus dem gemeinsamen Gasleitungsstutzen von drei Generatoren.

Nr.	CO_2	$C_n H_m$	O	Co	H	CH_4	Bemerkungen
1	4,9	0,5	1,4	26,9	8,9	1,3	Proben 1, 16, 41 wurden kurz hintereinder genommen.
2	3,5	0,6	1,2	27,0	8,6	1,9	Proben 2, 17, 42 wurden kurz hintereinander genommen.
3	3,3	0,2	3,2	24,6	7,5	1,0	Proben 3, 18, 43 wurden kurz hintereinander genommen.
4	4,1	0,3	2,0	25,4	8,8	1,4	Proben 4, 19, 44 wurden kurz hintereinander genommen.
5	4,0	0,4	2,0	26,5	8,9	1,5	Probe 6 wurde kurz hintereinander genommen.
6	3,4	0,3	0,1	25,1	10,7	1,2	
7	4,5	0,5	0,2	28,4	12,3	1,5	
8	3,3	0,7	0,0	29,4	12,1	1,0	
9	3,9	0,6	0,0	28,5	12,0	0,9	
10	3,4	0,4	0,0	28,4	11,9	1,2	
11	3,0	0,3	0,0	29,3	10,8	1,3	
12	4,9	0,5	0,2	29,5	10,7	1,2	
13	3,7	0,4	0,0	28,9	11,0	1,3	
14	3,5	0,3	0,1	28,3	10,1	1,0	
15	3,8	0,4	0,2	29,2	10,7	0,9	
	3,8	0,4	1,0	27,7	10,3	1,2	im Durchschnitt.

Tabelle V.

Generatorgasanalysen aus dem Gasübergangsrohr vor der Gasglocke.

Nr.	CO_2	$C_n H_m$	O	CO	H	CH_4	Bemerkungen
16	4,8	0,4	1,5	26,0	10,1	1,2	
17	5,6	0,3	1,2	26,2	8,4	1,8	
18	4,2	0,2	3,7	24,5	9,7	1,2	
19	3,8	0,2	2,6	25,4	8,9	1,4	
20	3,9	0,5	0,4	29,8	11,2	1,2	Proben 20,45
21	4,5	0,5	0,2	29,3	9,5	1,2	,, 21,46 } kurz
22	4,5	0,0	0,0	29,3	10,1	1,2	,, 22,47 } hintereinand.
23	5,1	0,0	0,5	29,0	9,8	1,4	,, 23,48
24	5,4	0,0	0,0	28,4	10,2	1,3	
25	4,6	0,3	0,8	27,6	9,9	0,9	
26	4,8	0,3	0,8	27,4	9,9	0,6	
27	3,0	0,2	0,2	30,6	9,7	1,2	
28	3,7	0,5	0,3	29,6	10,0	1,4	
29	5,0	0,3	0,2	28,4	11,5	0,8	
30	4,8	0,3	0,2	28,0	12,2	1,2	
31	4,0	0,2	0,2	30,6	15,0	1,6	
32	4,3	0,4	0,2	29,2	9,8	1,2	
33	4,0	0,0	0,0	29,4	11,2	1,5	
34	4,0	0,3	0,2	29,3	10,6	1,3	
35	4,4	0,2	0,0	29,8	12,1	1,0	
36	4,4	0,0	0,6	26,0	15,3	0,9	
37	4,0	0,2	0,2	31,4	12,3	1,2	
38	5,4	0,3	0,2	28,4	14,4	1,1	
39	5,2	0,2	0,2	28,8	14,7	1,2	
40	4,2	0,0	0,4	29,6	9,5	1,2	
	4,5	0,2	0,6	28,7	11,0	1,2	im Durchschnitt.

Tabelle VI.

Generatorgasanalysen aus der rechten Gaskammer vor den Schlitzen zu den Zügen.

Nr.	CO_2	$C_n H_m$	O	CO	H	CH_4	Bemerkungen
41	6,1	0,8	1,4	24,0	9,2	1,5	
42	4,9	0,3	2,3	24,1	9,0	2,0	
43	4,5	0,0	4,5	21,6	9,8	1,0	
44	4,3	0,3	3,8	22,7	9,4	1,5	
45	4,9	0,5	0,0	30,2	11,4	1,8	
46	6,6	0,5	0,3	25,2	16,2	1,3	
47	5,2	0,0	0,0	27,0	11,1	1,4	
48	6,9	0,3	0,3	25,7	10,5	1,4	
49	6,4	0,0	0,0	25,9	10,2	1,0	
50	4,6	0,0	0,0	25,5	14,1	1,6	
51	6,2	0,3	0,4	28,2	10,5	1,4	
52	4,5	0,0	4,4	21,7	9,9	0,9	
53	6,7	0,3	0,5	25,4	15,9	1,2	
54	5,1	0,2	0,1	26,8	15,9	1,4	
55	6,3	0,0	0,0	26,2	10,4	1,2	
56	6,1	0,3	0,3	28,4	10,2	1,2	
57	5,0	0,4	0,0	30,1	11,3	1,5	
58	5,3	0,0	0,0	27,2	11,3	1,2	
59	4,8	0,4	0,2	29,2	11,5	1,7	
60	6,5	0,6	0,4	24,8	15,1	1,3	
61	6,1	0,4	0,3	28,1	10,6	1,2	
62	5,0	0,5	0,0	29,9	11,5	1,7	
63	5,2	0,1	0,0	27,1	11,0	1,3	
64	5,3	0,0	0,2	27,3	10,9	1,2	
65	6,2	0,4	0,2	28,2	10,5	1,1	
5	5,5	0,3	0,8	26,3	11,5	1,4	im Durchschnitt.

gase im Anfang und am Schluß der Charge keine nennenswerten Unterschiede, nur fällt auf, daß der Gehalt an Kohlensäure in der Gaskammer größer als in der Luftkammer, daß in letzterer aber der Gehalt an Wasserstoff und Sauerstoff bedeutender ist. Wahrscheinlich hängt dies mit dem spezifischen Gewicht der Gase zusammen. Die Züge der Luft liegen höher als die des Gases, und die spezifisch leichteren Gase werden daher eher das Bestreben haben, oben statt unten abzuziehen. Methan und natürlich auch schwere Kohlenwasserstoffe wurden in den Abgasen nicht mehr nachgewiesen. Der Sauerstoffgehalt war in den Gasen im Kamin größer als in den Kammern, was auf Undichtigkeiten im Kanal, besonders am Essenschieber, zurückzuführen bleibt. Durchschnittlich hatten die Abgase der Luft- und Gaskammer folgende Zusammensetzung:

CO_2	CO	O	H	H
15,9	1,9	0,4	0,6	81,2

Der Luftüberschuß-Koeffizient beträgt demnach

$$U = \frac{81{,}2}{81{,}2 - \frac{79}{21} \cdot 1{,}9.} = 1{,}1$$

Der Betrieb wird auch tatsächlich mit einem möglichst geringen Luftüberschuß geführt. Am Ende der Charge wird das Luftventil sogar fast geschlossen, da sonst die Oefen zu heiß gehen.

Aus den Versuchen geht hervor, daß besonders Wasserstoff und Kohlenoxyd auf dem Herde nicht vollständig zur Verbrennung gelangen, was nur natürlich ist, da sich der bei der Verbrennung bildende Wasserdampf in hohen Temperaturen bei Gegenwart von Materialien, die als Kontaktsubstanz wirken (in diesem Falle hauptsächlich Eisen), leicht zersetzt. Die Größe der Zersetzung ist abhängig von der Konzentration der Gesamtgase.

Wassergehalt der Gase.

Im praktischen Betrieb wird im allgemeinen immer noch zu wenig der Feuchtigkeitsgehalt der Generatorgase beachtet, trotzdem in der Literatur schon mehrfach auf die schädlichen Wirkungen eines hohen Wassergehaltes hingewiesen ist. Es werden zur Betriebskontrolle meist nur Gasanalysen ausgeführt; ist der Kohlensäuregehalt gering, hält man das Gas für gut und die Untersuchung ist damit erledigt.

Abgesehen von den oben besprochenen Dissoziationswirkungen des Wasserdampfs und der damit verbundenen Verminderung des Heizwertes treten noch andere üble Folgeerscheinungen bei einem hohen Feuchtigkeitsgehalt auf.*

Die Hauptmenge des Wasserdampfes stammt aus dem hygroskopischen Wassergehalt des Brennstoffs. Er beträgt bei Gaskohle ungefähr 8 %. Dieses Wasser wird gleichzeitig mit der Destillation des Bitumens ausgetrieben und dürfte sich abgesehen von Kondensation und Spaltung (bei den chemischen Umsetzungen kann auch wieder neues Wasser gebildet werden) im Gase voll wiederfinden. Wenn 1 kg Kohle 4 cbm Gas liefert, so ergibt das einen Wassergehalt von 20 g/cbm.

Einen weiteren Teil des Wasserdampfes liefert der dem Wind zur Abkühlung der Vergasungszone beigesetzte Dampf, ferner die der Luft anhaftende natürliche Feuchtigkeit und bei Wasserabschlußgeneratoren noch das von der Asche kapillar aufgesogene Wasser, das vom Gebläsewind teils als Dampf, teils als unverdampftes Wasser mitgerissen wird. Der mit dem Wind zugeführte Dampf wird in der heißen Generatorzone nicht vollkommen zersetzt. Ein unter Umständen bedeutender Teil geht unzersetzt durch den Generator hindurch und mischt sich mit dem Gas. Die Menge des unzersetzt den Generator passierenden Wasserdampfes ist von verschiedenen Faktoren abhängig, von der Temperatur, der Geschwindigkeit des Windstromes, der Höhe der heißen Zone und der Art des Brennstoffes.

* Vgl. C. Canaris: Stahl und Eisen 1908, Nr. 16.

Tabelle VII.

Nr.	Generatorgasanalysen (1—48) und Abgasanalysen							Bemerkungen
	CO_2	$C_n H_m$	O	CO	H	CH_4	H_2O g pro cbm	
1	4,9	0,5	1,4	26,9	8,9	1,3	104,5	bei den Generatoren
16	4,8	0,4	1,5	26,0	10,1	1,2	168,8	Gasübergangsrohr } 3 Stunden nach Abstich.
41	6,1	0,8	1,4	24,0	9,2	1,5	113,3	rechte Gaskammer
2	3,5	0,6	1,2	27,0	8,6	1,9	115,1	bei den Generatoren
17	5,6	0,3	1,2	26,2	8,4	1,8	90,2	Gasübergangsrohr } 2½ Stunden nach Abstich.
42	4,9	0,3	2,3	24,1	9,0	2,0	109,9	rechte Gaskammer
3	3,3	0,2	3,2	24,6	7,5	1,0	55,8	bei den Generatoren
18	4,2	0,2	3,7	24,5	9,7	1,2	89,5	Gasübergangsrohr
43	4,5	0,0	4,5	21,6	9,8	1,0	74,8	rechte Gaskammer
4	4,1	0,3	2,0	25,4	8,8	1,4	61,4	bei den Generatoren
19	3,8	0,2	2,6	26,4	8,9	1,4	131,4	Gasübergangsrohr
44	4,3	0,3	3,8	22,7	9,4	1,5	94,0	rechte Gaskammer
20	3,9	0,5	0,4	29,8	11,2	1,2	114,7	Gasübergangsrohr } kurz vor Abstich.
45	4,9	0,5	0,0	30,2	11;4	1,8	83,5	rechte Gaskammer
21	4,5	0,5	0,2	29,3	9,5	1,2	112,7	Gasübergangsrohr } kurz vor Abstich.
46	6,6	0,5	0,3	25,2	16,2	1,3	79,5	rechte Gaskammer
22	4,5	0,0	0,0	29,3	10,1	1,2	168,8	Gasübergangsrohr } 20 Minuten vor Abstich.
47	5,2	0,0	0,0	27,0	11,1	1,4	116,3	rechte Gaskammer
23	5,1	0,0	0,5	29,0	9,8	1,4	171,3	Gasübergangsrohr } 1 Stunde vor Abstich.
48	6,9	0,3	0,3	25,7	10,5	1,4	120,3	rechte Gaskammer
66	17,0	0,0	0,1	2,1	1,0	—	—	Gaskammer } Abgase 4½ Stunde
81	17,7	0,0	1,0	0,0	0,0	—	—	Luftkammer } nach Abstich.
67	16,6	0,0	0,9	0,2	0,5	—	—	Gaskammer } Abgase 4 Stunden
82	15,7	—	2,6	0,5	0,8	—	—	Luftkammer } nach Abstich.
68	16,7	—	0,9	0,3	0,3	—	—	Gaskammer
83	15,7	—	2,6	0,5	0,9	—	—	Luftkammer } Abgase { 4 Stunden nach
24	5,4	0,0	0,0	28,4	10,2	1,3	104,5	Gasübergangsrohr } { Abstich.
69	18,4	0,0	0,0	0,0	0,4	—	—	Gaskammer } Abgase 2 Stunden nach
84	16,4	—	1,2	0,3	0,6	—	—	Luftkammer } Abstich.
49	6,4	—	0,0	25,9	10,2	1,0	92,6	Gaskammer Gas
70	13,4	—	3,5	0,0	0,0	—	—	Gaskammer } 20 Minuten vor Abstich.
85	12,3	—	4,5	0,0	1,1	—	—	Luftkammer }
50	4,6	0,0	0,0	25,5	14,1	1,6	90,5	Gaskammer
71	17,2	—	2,2	0,0	0,0	—	—	Gaskammer } Abgase.
86	13,5	—	5,2	0,0	0,0	—	—	Luftkammer }
51	6,2	0,3	0,4	28,2	10,5	1,4	87,3	Gaskammer

Harries* fand, daß bei 838° noch mehr als 50% unzersetzt blieben.

Ohne Dampfzusatz wird man beim Steinkohlenbetrieb in den wenigsten Fällen auskommen können, da die Generatorkohle, besonders in Rheinland-Westfalen, große Neigung zum Backen hat.

Beim Brikettbetrieb liegen die Verhältnisse insofern ungünstiger als beim Betrieb mit Steinkohlen, weil die Briketts einen bedeutend höheren Feuchtigkeitsgehalt haben. Er ist in Angerort im Durchschnitt zu 16,3% festgestellt worden. 1 kg Briketts liefert ca. 3 cbm Gas; es finden sich also im Kubikmeter Gas ca. 54 g Wasserdampf wieder; da die Generatoren ferner mit Wasserabschluß versehen sind, so würde sich der Wassergehalt noch mehr erhöhen, wenn man noch mit Dampfzusatz arbeitete. Man hat aus diesem Grunde hiervon Abstand genommen. Wenn sich auch Schlackenklumpen bilden, wie schon eingangs dieser Arbeit ausgeführt wurde, so läßt sich doch der Betrieb auch so aufrecht erhalten.

Der Wassergehalt wurde an den Stellen festgestellt, an denen Gasproben entnommen wurden. Die Ergebnisse sind bei den betreffenden Gasanalysen vermerkt (Tabelle VI).

Der Wassergehalt wurde durch Gewichtszunahme zweier hintereinander geschalteter, mit Phosphorsäure-Anhydrit gefüllter Röhrchen bestimmt. Zum

* Journal für Gasbeleuchtung usw. 1894, S. 84, und Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1905, S. 236.

Abfangen des Rußes und Staubes war ein mit Glaswolle gefülltes U-Röhrchen vorgeschaltet; der sich hierin schon niederschlagende Wasserdampf wurde im Oelbad auf 105° erhitzt und durch Hindurchleiten getrockneter Luft dem Wägeröhrchen zugeführt.

Zum Teil ergab sich eine auffallende Wasserzunahme auf dem Wege von dem Generator zur Glocke. Dies war besonders an regnerischen und darauf folgenden Tagen der Fall, ein Beweis für die Undichtigkeit der im Boden liegenden Kanäle. Wenn die Gesamtanlage es zuläßt, soll man daher möglichst ausgemauerte Blechrohre für Gasleitungen verwenden, die man ja auch evtl. im Erdboden verlegen kann.

Manchmal trat sogar eine Zunahme an Wasserdampf in den Kammern auf. Dies liegt daran, daß oft beim Umsteuern ein Teil des Absperrwassers der Gasglocke in die Kanäle lief. (Diesem Uebelstande wurde inzwischen durch eine Aenderung der Glokkenkonstruktion abgeholfen.)

Im Durchschnitt betrug der Wassergehalt bei den Generatoren 84,2 g/cbm, vor der Gasglocke 128,0 g/cbm und an der obersten Stelle der Gaskammer 96,5 g/cbm. Das Gas nahm also im Kanal ca. 43,8 g pro Kubikmeter auf und verlor beim Durchgang durch die Gaskammern 31,5 g pro Kubikmeter.

Teergehalt der Gase.

Bei der Vergasung besonders bitumenhaltiger Brennstoffe macht sich eine starke Entwicklung von Teerdämpfen bemerkbar, die sich bei Abkühlung teilweise kondensieren und so heiztechnisch verloren gehen. Da sie einen großen Heizwert besitzen, ist man natürlich bestrebt, diesen Verlust zu vermeiden. Die Vorschläge, die in dieser Beziehung gemacht sind, basieren hauptsächlich auf dem Prinzip, die Teerdämpfe in beständigere Verbindungen über-

Tabelle VIII.

Abgasanalysen aus der rechten Gaskammer vor den Schlitzen zu den Zügen.

Nr.	CO_2	O	CO	H	Bemerkungen
66	17,0	0,1	2,1	1,0	Proben 66, 81 }
67	16,6	0,9	0,2	0,5	„ 67, 82 } gleichzeitig
68	16,7	0,9	0,3	0,3	„ 24, 68, 83 }
69	18,4	0,0	0,0	0,4	„ 49, 69, 84 „ (resp. hintereinander)
70	13,4	3,5	0,0	0,0	„ 50, 70, 85 „
71	17,2	2,2	0,0	0,0	„ 51, 71, 86 „
72	16,5	0,8	0,3	0,5	
73	15,8	0,9	0,4	0,6	
74	14,0	0,9	0,2	0,5	
75	16,1	0,4	0,3	0,3	
76	17,1	2,0	0,0	0,2	
77	16,0	0,9	0,3	0,5	
78	16,9	0,9	0,4	0,5	
79	17,1	1,8	0,5	0,3	
80	16,5	1,3	0,4	0,6	
	16,4	1,2	0,4	0,4	im Durchschnitt.

Tabelle IX.

Abgasanalysen aus der rechten Luftkammer, über der obersten Steinlage.

Nr.	CO_2	O	CO	H	Bemerkungen
81	17,7	1,0	0,0	0,0	
82	15,7	2,6	0,5	0,8	
83	15,7	2,6	0,5	0,9	
84	16,4	1,2	0,3	0,6	
85	12,3	4,5	0,0	1,1	
86	13,5	5,2	0,0	0,0	
87	13,8	2,6	0,8	1,5	
88	14,2	2,7	0,5	0,9	
89	15,6	2,1	0,3	0,8	
90	16,3	1,5	0,2	0,7	
91	17,2	1,3	0,2	0,8	
92	15,8	2,3	0,4	0,9	
93	16,1	1,5	0,2	0,7	
94	12,5	4,3	0,0	1,4	
95	16,5	1,5	0,3	0,5	
	15,3	2,5	0,3	0,8	im Durchschnitt.

Tabelle X.

Abgasanalysen aus dem Sockel des Kamins.

Nr.	CO_2	O	CO	H	H_2O g pr. cbm	Bemerkungen
96	12,9	6,6	0,0	0,7	28,6	} $3^1/_4$ Stunde nach Abstich bei
97	13,0	6,7	0,0	0,8	30,1	} offenem Luftventil.
98	12,7	5,3	0,4	0,0	25,4	} Zum Schluß der Charge, Luft-
99	12,8	5,5	0,5	0,0	32,6	} ventil 80 mm auf.
100	11,6	7,0	1,0	0,0	29,1	
101	7,6	7,0	1,1	0,6	—	
102	8,6	5,0	0,2	1,8	—	
103	13,0	5,1	0,3	0,0	—	
104	12,5	5,1	1,0	0,0	—	
105	12,7	4,8	0,3	0,0	—	
106	13,0	5,1	0,2	0,0	—	
107	11,9	6,0	0,3	0,4	—	
108	13,4	4,8	0,3	0,0	—	
109	12,6	4,9	0,2	0,0	—	
110	12,8	5,5	1,0	0,7	—	
	12,1	5,6	0,4	0,3	—	im Durchschnitt.

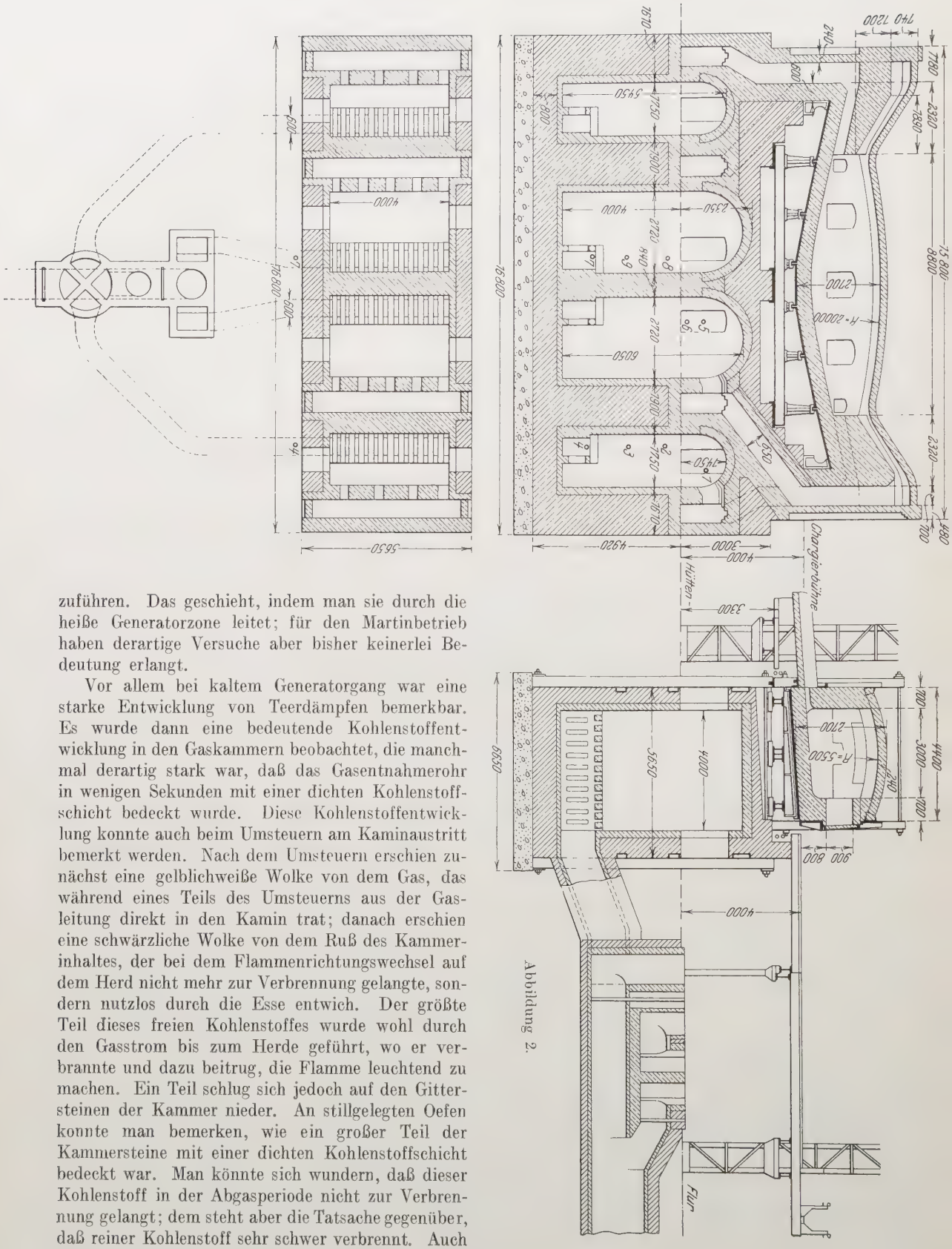

Abbildung 2.

zuführen. Das geschieht, indem man sie durch die heiße Generatorzone leitet; für den Martinbetrieb haben derartige Versuche aber bisher keinerlei Bedeutung erlangt.

Vor allem bei kaltem Generatorgang war eine starke Entwicklung von Teerdämpfen bemerkbar. Es wurde dann eine bedeutende Kohlenstoffentwicklung in den Gaskammern beobachtet, die manchmal derartig stark war, daß das Gasentnahmerohr in wenigen Sekunden mit einer dichten Kohlenstoffschicht bedeckt wurde. Diese Kohlenstoffentwicklung konnte auch beim Umsteuern am Kaminaustritt bemerkt werden. Nach dem Umsteuern erschien zunächst eine gelblichweiße Wolke von dem Gas, das während eines Teils des Umsteuerns aus der Gasleitung direkt in den Kamin trat; danach erschien eine schwärzliche Wolke von dem Ruß des Kammerinhaltes, der bei dem Flammenrichtungswechsel auf dem Herd nicht mehr zur Verbrennung gelangte, sondern nutzlos durch die Esse entwich. Der größte Teil dieses freien Kohlenstoffes wurde wohl durch den Gasstrom bis zum Herde geführt, wo er verbrannte und dazu beitrug, die Flamme leuchtend zu machen. Ein Teil schlug sich jedoch auf den Gittersteinen der Kammer nieder. An stillgelegten Oefen konnte man bemerken, wie ein großer Teil der Kammersteine mit einer dichten Kohlenstoffschicht bedeckt war. Man könnte sich wundern, daß dieser Kohlenstoff in der Abgasperiode nicht zur Verbrennung gelangt; dem steht aber die Tatsache gegenüber, daß reiner Kohlenstoff sehr schwer verbrennt. Auch

wurde, wie schon erwähnt, mit einem geringen Luftüberschuß gearbeitet.

Zur Bestimmung des Teergehalts in den Gasen wurde der Apparat von Tieftrunk benutzt, wie er in Hempel „Gasanalytische Methoden" beschrieben ist. Wurde jedoch, wie vorgeschrieben, verdünnter Alkohol verwendet, so gingen die Teerdämpfe unabsorbiert resp. gelöst durch den Alkohol hindurch. Reiner Alkohol löste dagegen sämtlichen Teer. Es fand keine Bräunung der Watte in dem hinter den Apparat geschalteten U-Rohr statt. Die erhaltene braune alkoholische Flüssigkeit wurde zunächst durch Filtration vom mitgeführten Staub und Ruß befreit. Der Alkohol wurde verdunstet und das Wasser im Exsikkator entfernt.

Bei den Generatoren wurden zu verschiedenen Betriebsperioden folgende Teergehalte festgestellt in g/cbm: 10,56, 13,47, 12,18, 15,45, 11,26, 10,89; durchschnittlich betrug der Teergehalt also 12,3 g/cbm.

Am Gasübergangsrohr zur Gasglocke wurden folgende Teergehalte ermittelt: 11,55, 13,17, 10,45, 9,87, 9,90; durchschnittlich also 11,0 g/cbm. Das Gas verlor also auf dem Wege vom Generator zum Uebergangsrohr im Durchschnitt 1,3 g/cbm.

Zum Vergleich sei mitgeteilt, daß Dr.-Ing. Wendt* bei seinen Versuchen an Steinkohlengasgeneratoren 13 bis 18 g/cbm fand.

Auf einigen Werken wird der abgeschiedene Teer — in Angerort scheidet er sich hauptsächlich vor und in der Gasreversierglocke ab — mit Kohle gemischt und unter Dampfkesseln verfeuert. Das geschieht z. B. in Riesa; in Angerort ist das nicht möglich, da, wie schon erwähnt, keine Dampfanlage in Betrieb ist. Der Teer wird deshalb an eine Teerverwertungsgesellschaft verkauft.

Temperaturen.

Ueber die im Generator auftretenden Temperaturen wurde schon berichtet.

Die Temperatur des Gases im Gassammelrohr blieb im allgemeinen konstant. Es mischten sich die Gase von drei Generatoren, wodurch ein Ausgleich geschaffen wurde, wenn der eine zeitweise etwas kälter oder heißer ging als der andere. Die Temperatur schwankte zwischen 228 und 338°, im Durchschnitt betrug sie 230° C.

Es wird also beim Braunkohlenbrikettbetrieb ein bedeutend kälteres Gas erzeugt, als beim Steinkohlenbetrieb, bei dem man eine Durchschnittstemperatur von 600° annehmen kann. Der Grund des kälteren Ganges ist in dem hohen Wassergehalt der Briketts zu suchen. Um 1 kg Wasser von 20° zu verdampfen, sind 617 Kal. erforderlich, bei einem Wassergehalt von 16,3 % werden demnach zur Verdampfung des Wassers in 1 kg Brikett 1 . 0,163 . 6,17 = rd. 112 kg/Kal. aufgewendet, während für die gleiche Menge Steinkohle mit 8 % Wasser nur 1 . 0,08 . 617 = rd. 49 kg/Kal., also weniger als die Hälfte nötig sind.

* Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1904, S. 1800 ff.

Die Gastemperatur schwankte vor der Gasglocke zwischen 194° und 208°, als Mittelwert ergab sich 200°. Das Gas kühlt sich also auf dem Wege von den Generatoren zum Ofen um 30° ab oder pro Meter (die Leitung ist rd. 45 m lang) um rd. 0,7° C.

Wie Prof. Dr.-Ing. Mayer in seinem schon erwähnten Buche schreibt, lagen bis dato noch keine ausreichenden Veröffentlichungen über die Temperaturhöhe und insbesondere über die Temperaturschwankungen in den Wärmespeichern vor. Er hat eingehende Untersuchungen in dieser Beziehung an einem mit Steinkohlengas betriebenen Ofen angestellt. Es lag nahe, festzustellen, ob beim Braunkohlenbetrieb die Verhältnisse ähnlich liegen, vor allem zu ermitteln, ob die erzielten Höchsttemperaturen von Gas und Luft mit den von Prof. Dr. Mayer gefundenen Werten übereinstimmen.

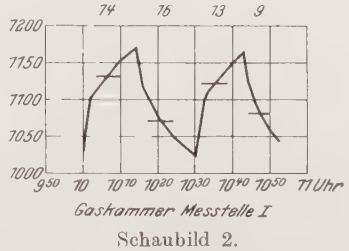

Schaubild 2.

Infolgedessen wurden fortlaufende Messungen an verschiedenen Stellen der Luft- und Gaskammer vorgenommen. In der Luftkammer war bei den Messungen das Thermoelement bloßgelegt, um ein Nachhinken zu vermeiden; in des Gaskammer ist das nicht möglich wegen des zerstörenden Einwirkens von Kohlenoxyd auf Platin. Die Ergebnisse sind in den Diagrammen 1 bis 10 graphisch aufgetragen. Die Stellen, an denen die Messungen vorgenommen wurden, sind in der beigegebenen Martinofenzeichnung (Abb. 2) vermerkt.

Hier seien kurz die gefundenen Hauptdaten mitgeteilt:

Meßstelle I (Schaubild 2, 3 und 4): Höchste Stelle der Gaskammer, vor den Schlitzen zu den Zügen:

Höchste gemessene Temperatur	1225° C
Niedrigste „ „	1020° C
Durchschnittstemperatur des Gases	1094° C
der Abgase	1137° C
Durchschnittliches Temperaturgefälle	43° C

Meßstelle II (Schaubild 5): In $^2/_3$ Höhe der Gaskammer:

Höchste gemessene Temperatur	1010° C
Niedrigste „ „	855° C
Durchschnittstemperatur des Gases	914° C
der Abgase	950° C
Durchschnittliches Temperaturgefälle	36° C

Meßstelle III (Schaubild 6): In $^1/_3$ Höhe der Gaskammer:

Höchste gemessene Temperatur	807° C
Niedrigste „ „	637° C
Durchschnittstemperatur des Gases	697° C
der Abgase	756° C
Durchschnittliches Temperaturgefälle	59° C

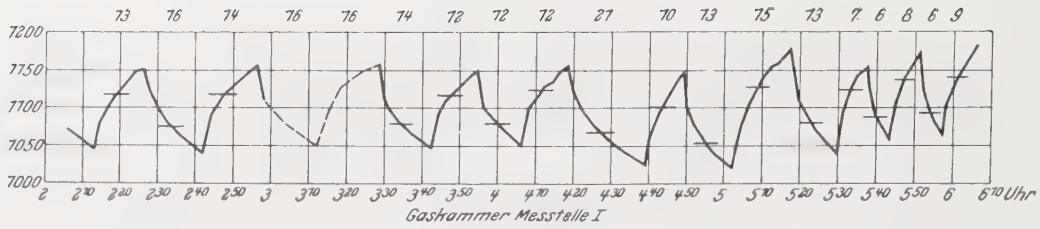

Schaubild 3.

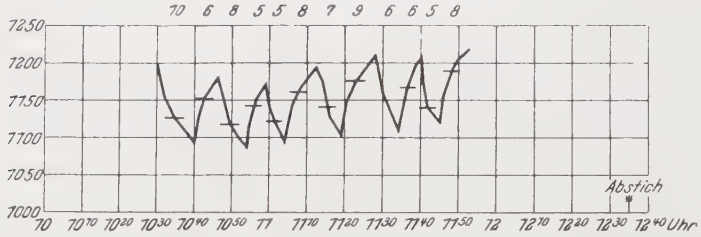

Schaubild 4.

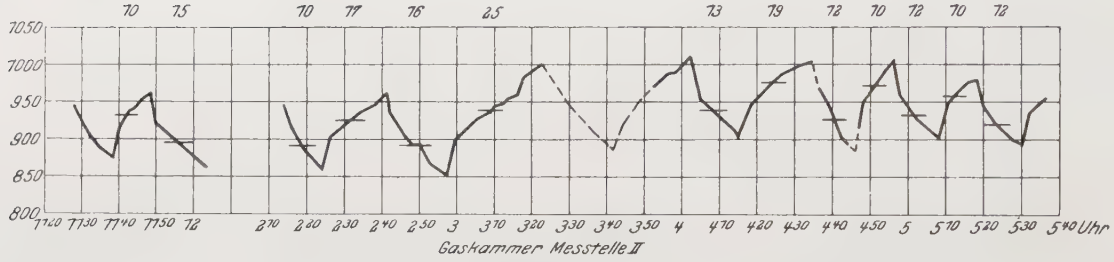

Schaubild 5.

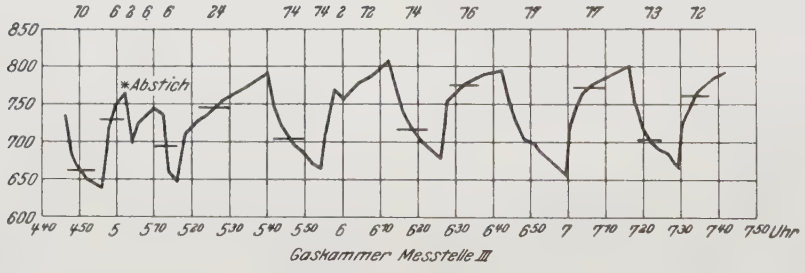

Schaubild 6.

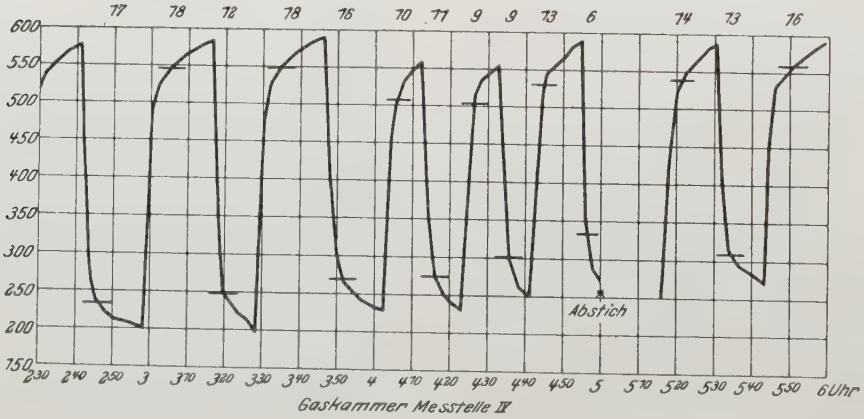

Schaubild 7.

Meßstelle IV (Schaubild 7): Im Kanal kurz vor dem Eintritt in die Gaskammer:

Höchste gemessene Temperatur	592° C
Niedrigste „ „	199° C
Durchschnittstemperatur des Gases	284° C
der Abgase	534° C
Durchschnittliches Temperaturgefälle	250° C

Meßstelle V (Schaubild 8 und 9): Oberste Stelle der Luftkammer vor den Schlitzen zu den Zügen:

Höchste gemessene Temperatur	1348° C
Niedrigste „ „	1240° C
Durchschnittstemperatur der Luft	1292° C
der Abgase	1307° C
Durchschnittliches Temperaturgefälle	15° C

Meßstelle VI (Schaubild 10): Zweite oberste Steinlage der Luftkammer:

Höchste gemessene Temperatur	1264° C
Niedrigste „ „	1175° C
Durchschnittstemperatur der Luft	1199° C
der Abgase	1231° C
Durchschnittliches Temperaturgefälle	32° C

Meßstelle VII (Schaubild 11): Im Kanal kurz vor dem Eintritt in die Luftkammer:

Höchste gemessene Temperatur	885° C
Niedrigste „ „	269° C
Durchschnittstemperatur der Luft	350° C
der Abgase	767° C
Durchschnittliches Temperaturgefälle	417° C

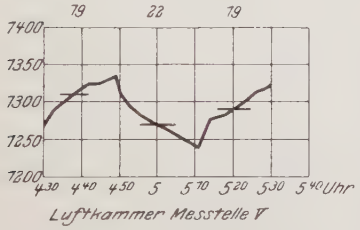

Schaubild 8.

Das Gas wird durchschnittlich von rd. 285° auf rd. 1100°, also um 815° in den Kammern erhitzt. Prof. Dr. Mayer fand eine Erhitzung von 650° auf 1250°, also eine Temperaturzunahme von 600°. Die Erhitzung von Luft wurde von 350° auf rd. 1300° bestimmt, Zunahme 950°. Die entsprechenden Zahlen von Professor Dr. Mayer lauten 400, 1400, 1000. Gas und Luft wird also bei diesem Braunkohlenbetrieb nicht so hoch erhitzt, wie es nach Prof. Dr. Mayer beim Steinkohlenbetrieb der Fall ist. Die geringere Erhitzung hat aber keine besonderen Störungen, wie langsamen Betrieb oder dgl. gezeitigt.

Prof. Dr. Mayer schreibt, daß sich ein Temperaturunterschied von Luft und Gas nach der Erhitzung in den Kammern in einer Höhe von 100 bis 150° als praktisch erweisen dürfte, der Unterschied ist hier mit 200° festgestellt worden.

Die Temperatur der erhitzten Luft soll nach Prof. Dr. Mayer nicht mehr als 50° hinter derjenigen der Abgase zurückbleiben; sie beträgt in unserm Falle im Durchschnitt 15°.

Temperaturmessungen, wie sie Dr. Mayer und ich an den Kammern von Martinöfen vorgenommen haben, können nur einen relativen Wert besitzen und nicht Aufschluß darüber geben, ob die gefundenen Temperaturen auch wirklich den Durchschnittstemperaturen in den entsprechenden Kammerzonen entsprechen. Es ist nicht möglich, das Thermoelement mehr als 200 mm in das Kammerinnere hineinzuführen, da es sich dann infolge der Hitze durchbiegen würde. Es können also nur die Temperaturen, die am Rande des Kammerinnern auftreten, gemessen werden.

Man wolle ferner bedenken, daß sich die Luft und das Gas bei dem Durchströmen der Wärmespeicher nicht gleichmäßig in diesen verteilt. Das Gas resp. die Luft sind bestrebt, den kürzesten Weg zu nehmen, und dieser Weg ist je nach der Konstruktion der Kammer ein verschiedener. Dort, wo die Hauptmenge der Luft resp. des Gases hindurchströmt, wird naturgemäß eine größere Abkühlung der Gittersteine stattfinden, als an den Stellen, die von weniger Gas- resp. Luftmengen passiert werden. Analog liegen die Verhältnisse in der Abgasperiode. Es ist denkbar, daß die Hauptmenge der Abgase einen anderen Weg nimmt, als die Hauptmenge des Gases resp. der Luft.

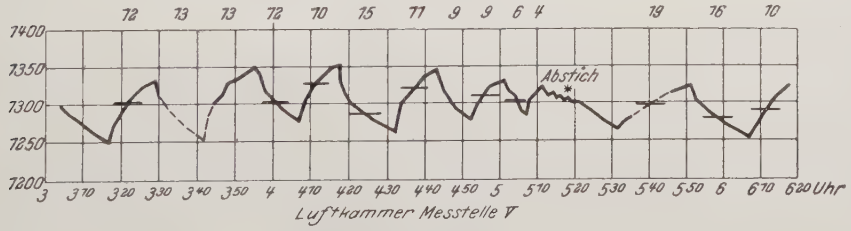

Schaubild 9.

Werden nun beispielsweise Messungen an einer Stelle vorgenommen, die von viel Luft resp. Gas und von wenig Abgasen passiert wird, so erhält man ein ganz falsches Bild von den wahren Temperaturvorgängen in der Gesamtzone. Bei den Messungen an Stellen 8 und 9 in $^1/_3$ und $^2/_3$ Höhe der Luftkammern trat die merkwürdige Erscheinung auf, daß bei Stellung der Kammer auf Luft das Millivoltmeter höher ausschlug als bei Stellung auf Abgasen. Es lag die Vermutung nahe, daß durch Undichtig-

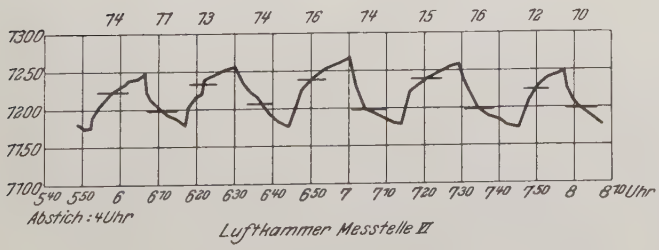

Schaubild 10.

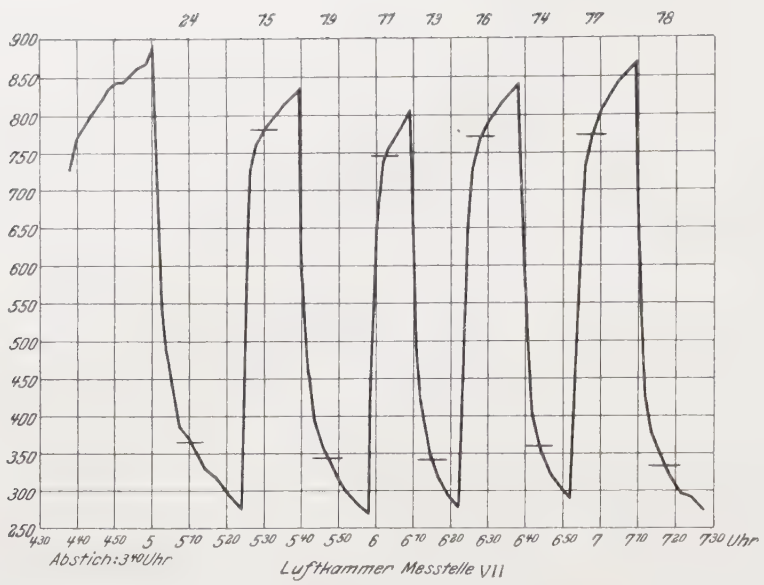

Schaubild 11.

Tabelle XI.

Temperaturen im Herde des Ofens II.
Letzter Abstich 12,30 Uhr.

Zeit	t	
	Linke Kopfseite	
3 h —	1665	Abgase.
5	1770	Flamme.
7	1780	
12	1770	
13	1626	Kopf ohne Abgase
14	1670	„ Abgase.
18	1719	„
20	1614	„ ohne Abgase
21	1822	Flamme
23	1800	„
24	1627	Abgase
26	1692	„
28	1640	„
30	1848	Flamme
32	1840	„
34	1822	„
36	„	
38	„	
	Umgeschaltet eine Mulde chargiert.	
43	1549	Abgase.
46	1570	„
48	1601	„
52	1796	Flamme
54	„	„
56	„	„
58	1666	Abgase.
4 h —	„	„
2	1666	Abgase.
4	1692	„
8	1770	Flamme
10	1822	„
12	„	„
14	1796	„
16	1770	„
18	1796	„
20	1692	Abgase.
22	„	„
25	1601	Bad.
45	1719	Kopf.

keiten im Mauerwerk falsche Luft angesogen wurde, die die Lötstelle des Thermoelementes kühlten, zumal bei Stellung auf Abgase der Zug in der Kammer größer ist als bei Stellung auf Luft. Es wurden demnach sämtliche Ritzen im Mauerwerk im Umkreis von ca. 1½ m auf das sorgfältigste verschmiert, auch wurden einige Gittersteine entfernt, um für das Element einen freieren Raum in der Kammer zu erhalten. Doch das Resultat blieb dasselbe. Beim Umsteuern auf Luft stieg die Temperatur plötzlich, um dann allmählich zu sinken, beim Umsteuern auf Abgase sank sie, um dann allmählich zu steigen. Nach meiner Ansicht findet diese Erscheinung ihre Erklärung darin, daß im Anfang nach dem Umsteuern keine Luft resp. Abgase an die Meßstelle gelangen, sondern

Tabelle XI (Fortsetzung).

	Alles geschmolzen, ca. 60 Schaufeln Kalkstein zugesetzt, stürmisches Aufkochen.	
5 h —	1796	Flamme.
	1640	Kopf.
	75 Schaufeln Kalk- und Kalkstein zugesetzt.	
10	1562	
5 h 15	30 Schaufeln Kalk zugesetzt.	
20	17 „ „ „	
	Abstich 6 h 40.	

erst nach einiger Zeit die Ströme auch diese Kammerpartie berühren. Das Thermoelement zeigt also eine gewisse Zeit lang nach dem Umsteuern nicht die Temperatur der Gase resp. der Luft an, sondern es wirken mehr die Temperaturen der erhitzten Steine auf das Element ein.

Nach Prof. Dr. Mayer liegt die Temperatur des Gittermauerwerkes bei der Stellung auf Abgase um 20° tiefer, als das Thermoelement anzeigt, und um 5° höher, wenn Luft resp. Gas erhitzt werden.

In Angerort betrug die durchschnittliche Temperatur in $^1/_3$ der Höhe der Luftkammern gemessen, rd. 970°, in $^2/_3$ Höhe der Kammer rd. 1180°.

Im Kamin wurden am Sockel Temperaturmessungen vorgenommen. Die Temperaturhöhe blieb im allgemeinen im Anfang wie am Schluß der Charge ziemlich konstant. Im Durchschnitt wurden 425° C ermittelt. Beim Umsteuern sank die Temperatur für kurze Zeit. Beim Drehen der Gasglocke steht der Rauchkanal mit der Gasleitung direkt in Verbindung; es tritt daher eine gewisse Menge Gas direkt in den Abhitzekanal, mischt sich mit den Abgasen und kühlt sie, da die Gastemperatur nur rd. 200° beträgt. Die Messungen sind in dem Schaubild 12 zusammengestellt.

Tabelle XII. Ofen II. Letzter Abstich 12 h 45.

Einsatz.

Gußbruch	2000 kg
Weißes Roheisen	7200 „
Graues „	1500 „
Brockeneisen	4800 „
Drehspäne	4400 „
Blechabfälle	9000 „
Gußabfälle	3300 „
Kernschrott	7000 „
Summa.	39 200 kg

Linker Kopf

Zeit	t	
1 h 35	1523	Abgase.
45	1446	„ Beginn des Chargierens.
50	1470	„
„	1770	Flamme.
2 h 10	1575	Abgase
18	1601	„
25	1620	„
30	1601	Kopf ohne Gase.
„	1770	Flamme.
38	1800	„
43	1770	„

Rechter Kopf

3 h 7	1796	Flamme.
10	1601	Kopf ohne Gase.
„	„	Abgase.
14	1610	„
20	1627	„
30	1770	Flamme.
35	1770	„
40	„	„
45	1640	Kopf ohne Gas.
„	1666	Abgase, Bad halb geschmolzen.
50	1692	„
55	1719	„
4 h	1692	Kopf ohne Gase.
7	1822	Flamme.
10	1660	Kopf ohne Gase.
„	1692	Abgase
45	1601	Bad alles geschmolzen.
„	1822	Flamme, 50 Schaufeln Kalk.
52	1692	Abgase.
55	1692	„
5 h	1666	Kopf ohne Gase.
2		15 Schaufeln Kalk.
5		56 „ Kalkstein.
10	1692	Abgase.
		35 Schaufeln Kalk.
15	1774	Flamme.
„	1692	Abgase.
		Charge wird hart (Roheisen kommt hoch).
		23 Schaufeln Erzi.
20	1666	Kopf ohne Gase.
	1770	Flamme.
25	1640	Abgase.
30	1627	Kopf ohne Gase.
		26 Schaufeln Kalk.
40	1770	Flamme.
43	1719	Kopf ohne Gase umgest.
45		12 Schaufeln Kalk.
48		45 „ „ Luftventil halb geschlossen.
„	1588	Bad.
5 h 5		Schmiedeprobe.
10		170 kg Ferromangan zugesetzt.
6 h 15	1640	Bad, umgerührt.
20		15 Schaufeln Kalk.
25	1640	Bad.
35		Abstich.

Es blieb noch übrig, die Temperaturen zu untersuchen, die auf dem Herde auftreten. Hierüber geben die Versuche gemäß Tabelle XI und XII Aufschluß. Es wurden mit dem Pyrometer nach Wanner gemessen: Die Temperaturen der Flamme und der Abgase am Brenner, der Köpfe in der Zeit des Umsteuerns, in der sie frei von Gasen waren, und des Bades oder genauer die Temperatur der auf dem flüssigen Stahl schwimmenden Schlackendecke.

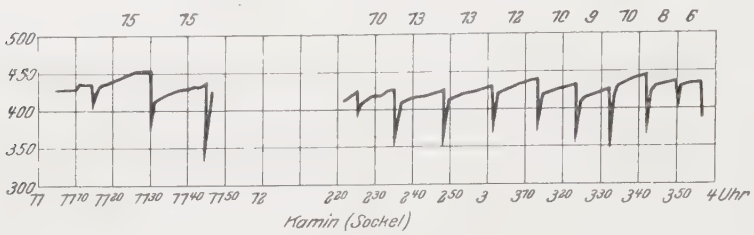

Schaubild 12.

Die höchste Temperatur herrschte auf dem Herde naturgemäß in der Zeit des Abstichs, die niedrigste beim Chargieren des kalten Einsatzes. Die Temperaturen wurden natürlich auch beeinflußt, wenn dem Bade größere Mengen an Kalk, Roheisen, Erz oder Ferromangan zugesetzt wurden. — Die Flammentemperatur schwankte zwischen 1770 und 1848°. Sie kann im Mittel zu 1800° angenommen werden. — Die Temperatur der Abgase schwankte zwischen 1446 und 1719°, als Mittelwert kann 1610 bezeichnet werden.

Die Temperatur der Köpfe lag rd. 30 bis 40° tiefer als die der Abgase. Die Temperatur der Schlackendecke betrug vor dem Abstich rd. 1640°.

Die Temperatur des Stahls in der Pfanne und beim Vergießen in die Kokillen zu messen war nicht möglich, da die sich entwickelnden Gase ein genaues Einstellen des Pyrometers nicht zuließen. —

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit läßt sich die Folgerung ziehen, daß sich das aus Braunkohlenbriketts erzielte Gas für Schmelzzwecke im Martinofen eignet, daß aber zurzeit in den Generatoren noch ein relativ hoher Prozentsatz an unverbrannten Rückständen beim Abschlacken verloren geht, der durch zweckmäßige Generatorkonstruktionen oder anderweitige Mittel verringert werden muß.

Lebenslauf des Verfassers.

Geboren bin ich am 18. September 1881 zu Voehrum, Provinz Hannover, evangelischer Konfession. Nach Absolvierung des Königlichen Gymnasiums zu Danzig im September 1901 praktizierte ich ein Jahr auf oberschlesischen Hüttenwerken und zwar auf der Hubertushütte und der Königshütte. Hiernach studierte ich zwei Semester an der Technischen Hochschule zu Charlottenburg und ein Semester zu Hannover. Im April 1904 trat ich in die Dienste der Firma Poetter & Co. A. G. zu Dortmund. Ende Juni 1907 gab ich diese Stellung auf, um mein Studium an der Technischen Hochschule zu Charlottenburg zu vollenden. Im Mai 1910 bestand ich bei der Abteilung für Hüttenkunde das Diplomexamen.

Henry Markgraf.

Literatur.

Ledebur: Handbuch der Eisenhüttenkunde.

Dr.-Ing. Mayer: Die Wärmetechnik des Siemens-Martin-Ofens.

Hempel: Gasanalytische Methoden.

Dichmann: Der basische Herdofenprozeß.

Stahl und Eisen.

Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.

Schillings Journal für Gasbeleuchtung usw.

„Hütte", Taschenbuch für Eisenhüttenleute.

Comptes rendus.

Gedruckt bei August Bagel in Düsseldorf.